

道路舗装構築作業に効果を上げた GPS 機能にゾーンレーザ機能を融合させた高精度位置検索システム

—GPS の高さ精度をレーザ技術で補ったトプコン mmGPS—

福川 光 男

業種を構成する各々の異なった分野の技術を融合させることにより、画期的な新しいシステムが生まれ出される。その新しいシステムの活用は更なる機能を付加させて発達してゆく。また、開発された各々の分野での新しいシステムとの組合せは高い相乗効果を発揮させる。道路舗装構築作業分野での更なる付加機能システムの説明と実施例を述べる。

キーワード：3D-MC, mmGPS, LPS, ゾーンレーザ, RSS

1. はじめに

測量分野における各種の計測機能は発達した光学技術に人工衛星を利用した通信技術、そして最新のコンピュータ技術を取込んで飛躍的に発達しており、これらの要素技術を活用して、次々と要求される新たな機能に対応している。一方、建設機械の機能も同様にこれらの要素技術を取込んで新しい機能の開発がされているが、操作制御に関してはヒューマンコントロールへの依存度が高かった。

しかし最近、これらの両分野の技術を融合させる事により、工作機械と同様に設計座標データを用いて直接施工機械を制御することが可能な3次元マシンコントロール技術が実用化され(図-1)、急速な普及が展開されている。さらに、この技術の発達により新たな機能を付加したシステムが開発された。このシステムの概要と我々が普段あまり知りえないオプトニクス(Optonics: Opto-electronics)機能のメカニズムを紹介したい。

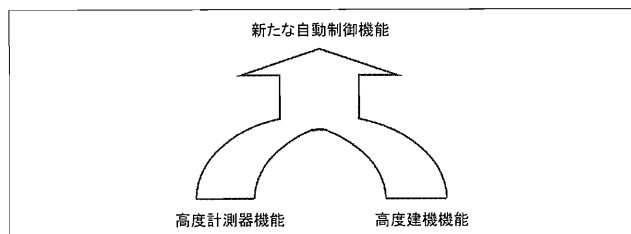


図-1 機能の融合

2. ポジショニングシステムの種類と用途、そして更なる要求機能

移動しながら作業を行う建設機械を設計座標データに基づいた位置検索システムを用いて作業装置をダイレクトに制御させるシステムは、前作業としての測量作業による指標の設置作業を省略することが可能な合理化施工工法としてその普及が高まって来ている。

この制御システムはGPSを使用する3次元マシンコントロールシステム(GPS-3D-MC)と自動追尾機能搭載の光学測量機器(トータルステーション)を使用したTS-3D-MCに大別される。

株式会社トプコンでは前者のGPSはその名のとおりGlobal Positioning System、後者をGlobalに対してLocal(局所)Positioning System(LPS)として区分している(現在まだこの種の器機に関する国際標準規格が設定されていないため、呼称についても開発メーカーによって異なり、統一されていない)。両者はそれぞれ特徴があり、施工業者は工種に応じて使い分けている。

特に一般重機土工においてはGPS機能を使用するGPS-3D-MCシステムはその完成度も高く実用性に富んでいるため年々需要率も高くなり、制御対象建機メーカーにおいても制御装置の標準化対応への取組みが始まっている。

一方、さらなる精密土工に適するためには2万km上空に位置する人工衛星位置情報を使用するGPSでは、高度な補正技術の採用やロシアの衛星Glonassの活用など、年々機能は改善されているが根本的にシ

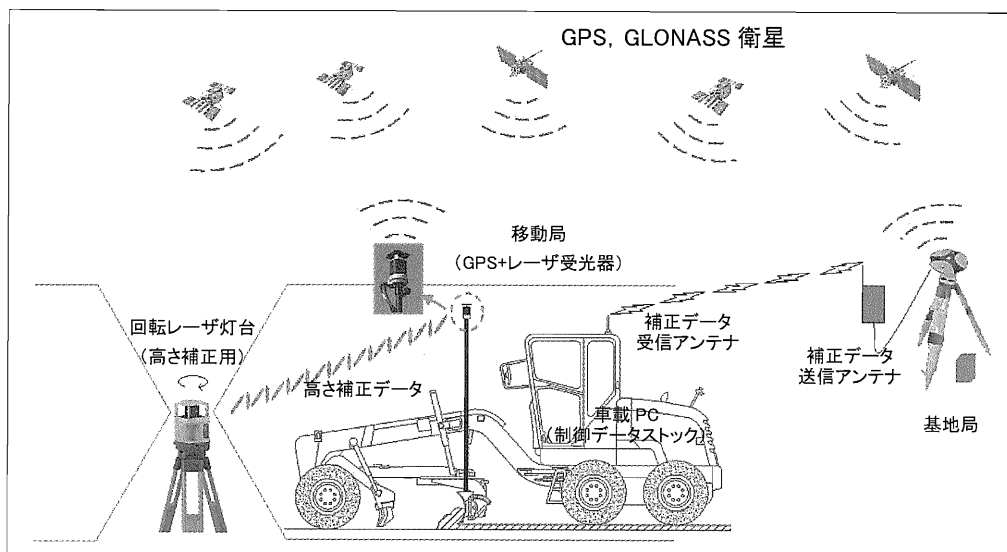


図-2 mmGPSの構成概念図

ステムの特性から精度限界があり、精度が要求される分野では光学測量機器の機能に委ねた TS (LPS)-3 D-MC の使用を選択している。

このシステムは測量器と同等の精度を持っており、自動追尾機能を備えているトータルステーション側から建設機械側受光センサにレーザ光にて指示情報を送り制御している。

しかし、トータルステーションと受光センサが一对となるため、制御される建設機械と同数のトータルステーションが必要になる。そこでかねてより GPS-3 D-MC のように複数機器での運用可能でかつ TS (LPS)-3 D-MC のような精度を持つシステムの開発が望まれていた。



写真-1 mmGPS-3 D-MC グレーダ稼働現場

3. 新たに開発された付加機能とそのシステム概要

道路舗装構築作業において建設機械の作業装置を数値制御するシステムへの更なる要求機能に対応するため、GPS の高さ精度をレーザ技術で補ったシステムが新たに開発された。モータグレーダに装備したシステムは図-2 のごとく構成されている。

この GPS 機能にトータルステーションの機能を付加した新しいシステムは株式会社トプコンより mmGPS (ミリメータジーピーエス) として、2004 年ドイツで開催された国際建設機械展示会 (BAUMA 2004) において初めて公開され、各方面から注目を浴びた。その後建設機械の IT の波に乗って急速に普及し、特に欧米の大規模施工現場で多数稼働している。我が国には昨年度より本格的な導入が始まり、数社での稼働実績が報告されている (写真-1)。本報文では

新たに開発された機能について述べる。

(1) 複数機種同一エリア同時使用可能な高精度高さ補正機能

従来の直接指示されたレーザビーム位置を受光センサで検知する方法では、トータルステーションと受光センサとが 1:1 でしか制御できない。

新たに開発された mmGPS は、GPS により計測される精度的に実用に足る水平位置 (X, Y) はそのまま利用して、トータルステーションと同様の高さ (H) 精度を得るため、受光センサ側で各々の高さを検知させる機構を採用しているものである。

この機構を備えていれば各々の機器側 (測量、建設機械) が高さ補正機能を持つので、複数同時制御が可能となる。この機構は、回転レーザ灯台より発射されたゾーンレーザを建設機械に搭載された受光センサ側でパルス信号として受け、入射角度を算出、検知する

ことにより高さを認識するものである。その認識は以下のようになされる。

回転レーザ灯台より扇状に広げられた3本のレーザ光（ファンビーム）をN字状に発射させ（2本目のビームを45度に傾ける）発射されたレーザビームを定められた速度で回転させれば、計測受光部には横切るレーザ光がその位置により定められたパルスパターンとして受光される（図-3）。

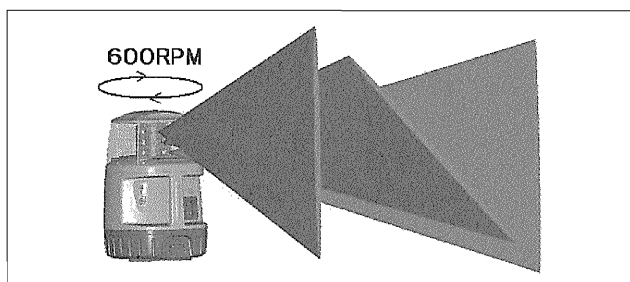


図-3 高低角を求める原理

そのパルスパターンを解析することにより発行部からのレーザ光入射角が判明される（同じ入射角上でのパルスパターンは同じになる）（図-4）。そして、GPSによって割り出したX、Yの水平座標により、その位置の入射角から高さ方向の位置を入力した座標データから設計指示高さを自己算出し補正することが

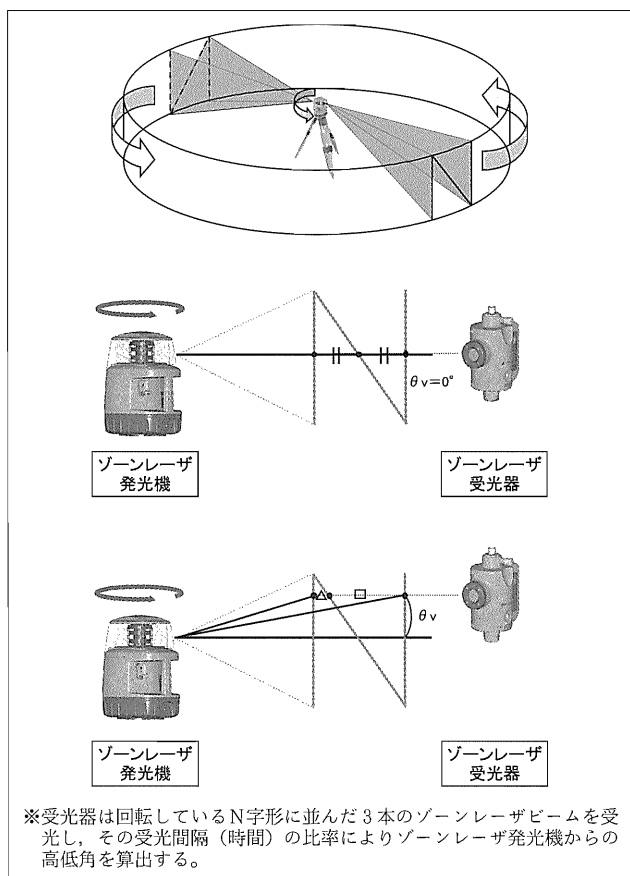


図-4 ゾーンレーザによる高さ計測原理

可能となる。

このシステムを用いることによりGPSのみでは不可能であった高さ方向の精度を高めることが出来るようになった（図-5）。

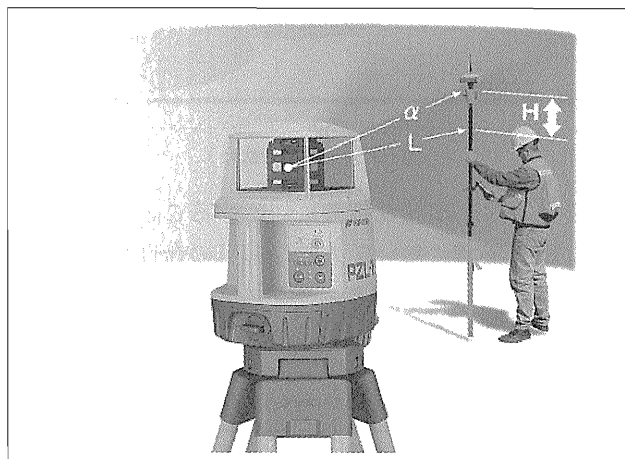


図-5 ゾーンレーザ発光器の距離と高さの関係

L : GPS
 α : レーザビームとの間の角
 $H = L \tan \alpha$

(2) 連続施工環境を容易にしたキャリーオーバー機能

このmmGPSも高さを補正するための回転レーザ灯台を用いているが、道路は長手方向に連続する形状であるため、回転レーザ有効半径内での範囲で線状に通過する部分しか制御できない（図-6）。

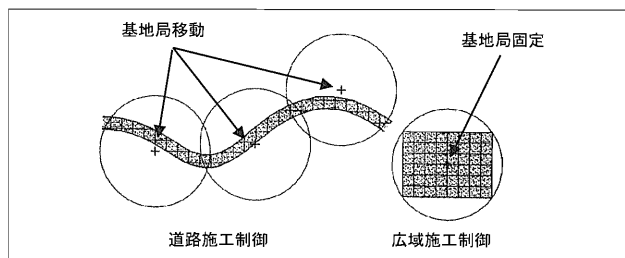


図-6 施工エリアと基地局の位置

この際、従来のトータルステーションでは制御エリア（半径約300m）を超える場合には工事を一時中断して新たにTSを移動再設置するか、又は制御に使用しているトータルステーションをoffにしてあらかじめ設置しておいた、次エリア制御用トータルステーションをonにしなくてはならず、スムーズな連続施工を実現するいわゆるキャリーオーバー機能は備えていなかった。

mmGPSはあらかじめセットされた最大4台の回転レーザ灯台を連続的に並べることにより理論上は直線方向で最長2,400m、高低範囲40mまでの連続施工が可能となった（図-7）。

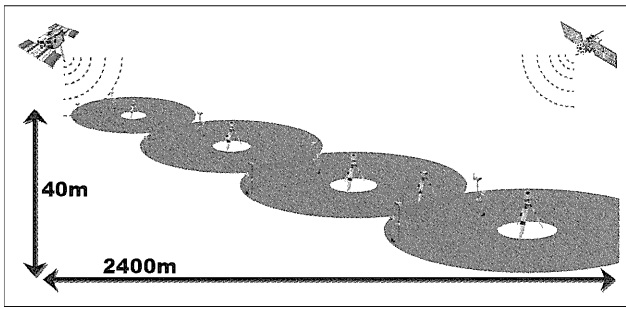


図-7 利用範囲の拡大

このような広範囲な制御に対応することにより、大規模な施工現場において大幅な施工の合理化が可能となる。従来のポジショニングシステムとの特徴比較を表一に示す。

表一 3D-MC 機器の特徴比較

| 項目 | GPS | 高精度 GPS | トータルステーション |
|------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| 制御範囲 | ◎ 半径 2000 m | ○ 半径 300 m | ○ 半径 300 m |
| 制御精度 (施工条件次第) | △ 垂直方法 ±30 mm | ◎ 垂直方法 ±10 mm | ◎ 垂直方法 ±10 mm |
| 周辺への影響 | △ 無線電波の 発信 | △ 無線電波の 発信 | ◎ 無し |
| 複数制御 | ◎ 制御範囲内 無制限 | ◎ 制御範囲内 無制限 | △ 1対1での制御 |
| 自立性 | △ 他国の 衛星頼み | △ 他国の 衛星頼み | ◎ スタンド アローン |
| 天候 | ◎ 左右されない | ○ 通常の GPS として使用可 | × 降雨時不可 |
| PC との接続 | ◎ 現場では PDA タイプ | ◎ 現場では PDA タイプ | △ 現場での PC 接続必要 |

4. 道路舗装構築作業における 3D-MC (mmGPS) の有効活用事例

道路舗装構築作業では舗装材としての加熱混合物は通常 40~100 mm 程度で敷均されており、その基盤となる路盤の整形許容精度はやはり mm オーダでの精度が要求される。

前工程の路盤、路床の出来形精度が高ければ上層の舗装材の敷均し精度を高めることが出来るが、逆に舗装材敷均し作業の前工程である路盤の仕上げ精度が悪ければ、いくら舗装材の敷均し精度を上げて、ローラによる転圧減が異なるため、高い平坦性を確保することは出来ない (図-8)。

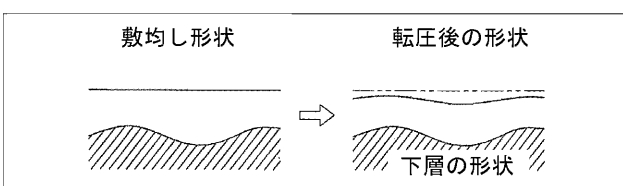


図-8 敷均し形状と転圧後の形状

したがって、道路構築作業にはさらに下層である路床整形作業から高い精度が要求されるのである。そこで、ブルドーザやモータグレーダの作業装置の数値制御システムを使用する場合には GPS に比べ、高さ精度の勝るトータルステーションを使用した 3D-MC が使用されている。また、舗装構築作業では、前述と同様に常に各々の構成層において平坦性能と支持機能を併せ持つ必要があるため、単にブレードのみで敷均しを行っても締固め機能がないため、締固め代を加味して敷均しを行い、ローラによる転圧作業を同時並行で行っている (図-9)。

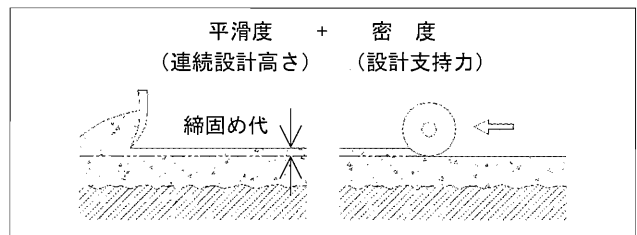


図-9 基盤に求められる機能

そのため、転圧後の仕上げ精度を同時並行で常にチェックしながら作業をする必要がある。しかし、従来のトータルステーション式の 3D-MC ではマシンコントロール中に測量作業が出来ないので、後工程で測量作業をしなければならない不便さがあった。mmGPS-3D-MC では複数器機の制御が同時並行で出来るので、この点が更なる合理化施工を可能にしたと言える (図-10)。

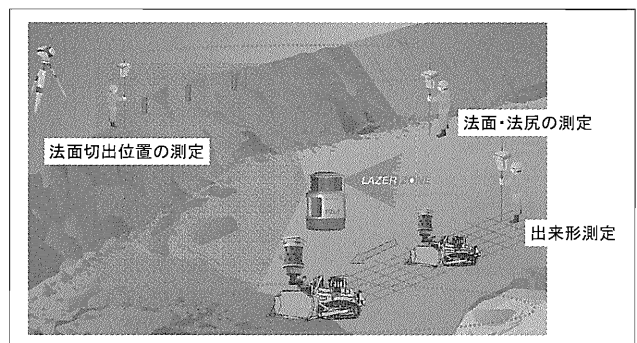


図-10 mmGPS による合理化施工

5. 新開発の敷均し厚さ制御システム (RSS) との併用は更なる施工の合理化を可能とする

今回紹介した mmGPS によるモータグレーダの 3D-MC は高い路盤の仕上げ精度を得ることが出来るため、次工程の合材敷均し作業において、最近開発されたレーザ測距機能を利用した非接触の規準高さセン

シングシステムをアスファルトフィニッシャに搭載して使用することによって、精度の高い敷均し厚さ管理をきわめて合理的に施工することが出来る。

このシステムはロードスキャンシステム(RSS)と呼ばれ、アスファルトフィニッシャのレベリングアームの所定の位置に設置されたマストの上(地上高さ2~3m)からレーザーパルスを前後方向に扇状にスキャンさせ、計測対象路面からの反射光をセンサが受光し、その斜距離と揺動角から路面までの高さを算出する。

このスキャンによって得られた150箇所(最長15m範囲)の測定データをもとに、従来のような長尺スキーを牽引することなく、基準値となる路面平均高さを計測できる。また作業中測定エリアに作業員が侵入しても、異常値としてコンピュータが自動的に認識し、収集データからキャンセルする機能を備えている(図-11)。

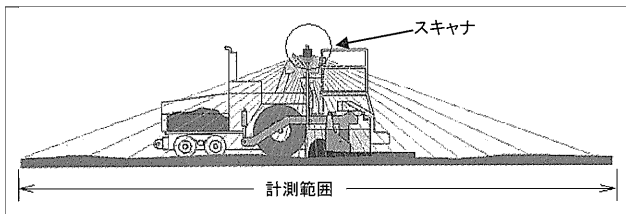


図-11 RSS スキャナによる路面の計測

このように新しく開発されたIT機能を備えたシステムとの組み合わせにより更なる高品質、施工の合理化が現実のものとなっている(写真-2)。

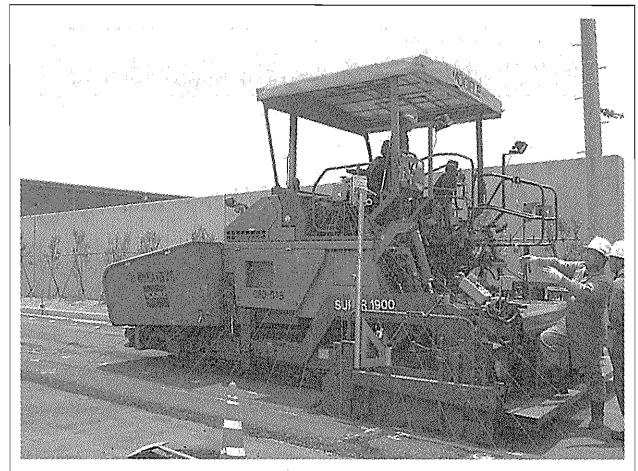


写真-2 ロードスキャンシステムの施工イメージ

《参考文献》

- 1) 福川：建設業におけるIT導入の位置付け，舗装，36[5] p.13 (2001.5)
- 2) 山口：高い平坦性の確保に貢献する舗装の最新機器について，舗装，40[12] pp.3-7 (2003.2)
- 3) 山口：道路建設機械における情報化施工，検査技術，pp.45-52 (2006.9)
- 4) トプコン測量機器新製品ニュース (GNSSの高さ精度を追求したmmGPS)

J C M A

〔筆者紹介〕

福川 光男 (ふくかわ みつお)
鹿島道路株式会社
専務取締役
生産技術本部担当

現場技術者のための

建設機械整備用工具ハンドブック

- ・建設機械整備用工具約180点の用語解説と約70点の使い方を収録。
- ・建設機械の整備に携わる初心者から熟練者まで幅広い方々の参考書として好適。

■ A5判 120頁

■ 定 価：会 員 1,050円 (消費税込)，送料420円

非会員 1,260円 (消費税込)，送料420円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (機械振興会館) Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289